

Gedegen, innovatieve en verbindende monitoring
van het waddengebied

FACTSHEET FOTOGRAMMETRIE

Gerbrand Vestjens

Geodelta

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
2	FOTOGRAMMETRIE	5
2.1	Specificiteit en nauwkeurigheid	6
2.2	Inzetbaarheid en leverbetrouwbaarheid	7
2.3	Uniformiteit	8
2.4	Regionale geschiktheid.....	8
2.5	Continuïteit	8
2.6	Prijs/Kwaliteit	9
2.7	Toepassingskader monitoring binnen probleemaafbakening.....	9
3	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	10
4	REFERENTIES	11

1 INLEIDING

De huidige winning van gas uit de diepe ondergrond van de Waddenzee vindt plaats volgens het principe van “hand aan de kraan”. Het is aannemelijk dat dit ook zal gelden voor toekomstige winningen van delfstoffen, zoals de voorgenomen winning van steenzout. Winning mag plaatsvinden onder de voorwaarde dat de beschermde natuurwaarden geen schade ondervinden. Van tevoren is vastgesteld hoe snel de bodem maximaal mag dalen om aan die voorwaarde te voldoen. Tijdens de winning vindt monitoring plaats om zo nodig de hand aan de winningskraan te zetten om de winning te verminderen dan wel geheel te stoppen.

De monitoring richt zich op:

- De bodemdaling (meet en regelcyclus);
- Mogelijke effecten op natuurwaarden van het natte wad, kwelders, duinen en polders.

Voor de monitoring van de bodemdaling wordt op momenteel gebruik gemaakt van diverse meettechnieken als GPS-metingen en InSAR voor enkele kleinere gebieden. Fotogrammetrie kan als techniek mogelijk een rol spelen bij de (lange-termijn) monitoring van bodembewegingen.

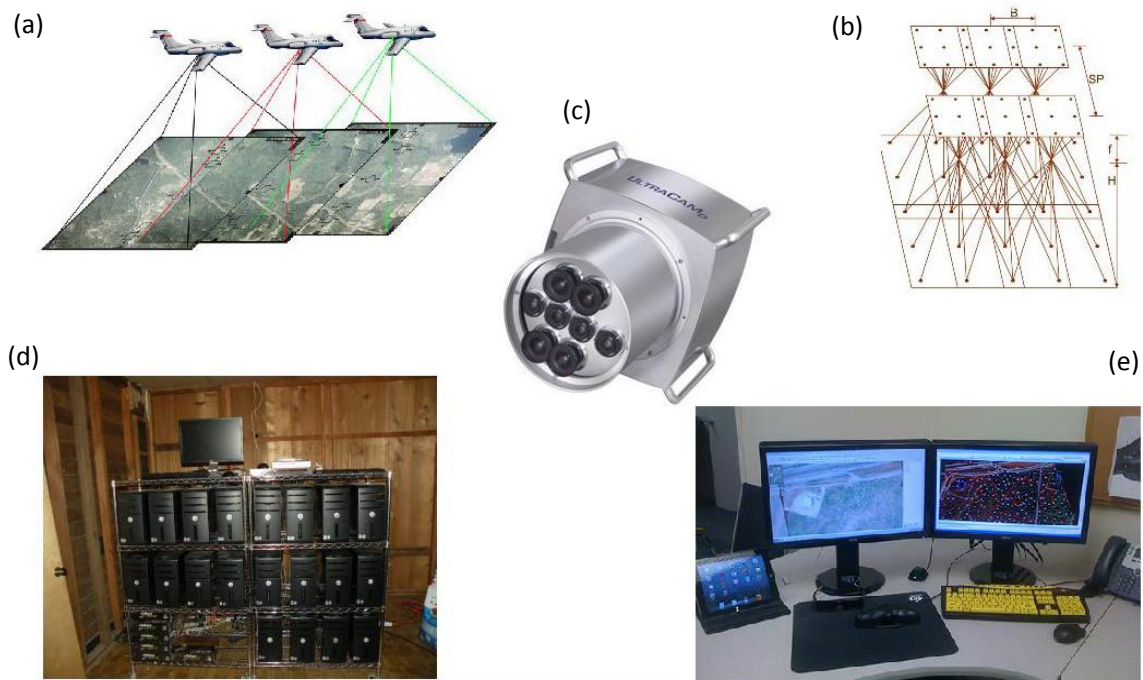
Bodemdaling van de Pleistocene ondergrond kan tot eventuele schade aan natuurwaarden zou kunnen leiden. Dit hangt af van het type oppervlak. Daarbij valt te denken aan de gevolgen van bodemdaling op de waterhuishouding bij binnendijkse polders, de stabiliteit van de duinen, eroderen of opslibben van kwelders, variaties in de grens tussen land en water en de morfologie van platen en geulen op het wad. Veranderingen van al deze zaken hebben weer directe of indirecte gevolgen voor de lokale flora en fauna. Ook voor het monitoren van deze flora en fauna kan fotogrammetrie een rol spelen.

2 FOTOGRAMMETRIE

Fotogrammetrie is de techniek van het meten in opnamen (2D) van een object (3D), waarbij hetzelfde object in twee of meer vanuit verschillende posities opgenomen opnamen gemeten wordt. Naar de wiskunde achter fotogrammetrie (projectieve meetkunde) wordt al sinds de 16e eeuw onderzoek gedaan en daarmee kan gesteld worden dat de techniek in essentie redelijk uitontwikkeld is. De techniek met luchtopnamen zoals we die nu kennen dateert van het begin van de 20e eeuw (analoge fotogrammetrie) en heeft na 1960 een sterke ontwikkeling doorgemaakt (analytische fotogrammetrie). Tegenwoordig spelen digitale camera's en rekenkundige technieken een zeer belangrijke rol (digitale fotogrammetrie) in commerciële uitbating van deze techniek.

De (lucht-)opnamen worden door middel van bekende positioneringsgegevens (GPS en traagheidsnavigatie in het opnamevoertuig alsook paspunten in het terrein) en verbindingspunten tussen de individuele opnamen met elkaar verbonden tot één geometrisch netwerk. De techniek maakt gebruik van *triangulatie* (maken van verbindingen tussen opnamen) en *blokvereffening* (de integratie van de verbindingen tussen de opnamen, evenals paspunten in het terrein en GPS/IMU-gegevens, Figuur 1).

Indien juist uitgevoerd resulteert het proces van triangulatie en blokvereffening in een uniforme beschrijving van de stand en positie van elk van de luchtopnamen ten opzichte van het in het terrein gebruikte coördinatenstelsel. Op basis van (stereo-) meettechnieken kunnen vervolgens in de luchtopnamen de positie en de vorm van objecten gemeten worden.



Figuur 1. Fotogrammetrie: (a) Luchtopnamen vanuit een vliegtuig. Dit vliegtuig heeft een GPS en IMU aan boord om de positie van het vliegtuig (en daarmee de camera) tijdens de vlucht te bepalen. (b). Tijdens het proces van triangulatie en blokvereffening wordt door middel van gemeten verbindingspunten tussen de opnamen, het aanmeten van paspunten in de opnamen en het gebruik van de geregistreerde stand en positie van de camera een optimaal geometrisch beeldverband opgebouwd. (c). Voorbeeld van een moderne digitale luchtcamera. (d). Voor het verwerken van de ruwe opnamegegevens (beelden, maar ook triangulatie en blokvereffening) is veel reken capaciteit nodig. (e). Het meten van verbindingspunten en paspunten, alsook het uitvoeren van karteringen in de beelden geschied door middel van digitale fotogrammetrische werkstations.

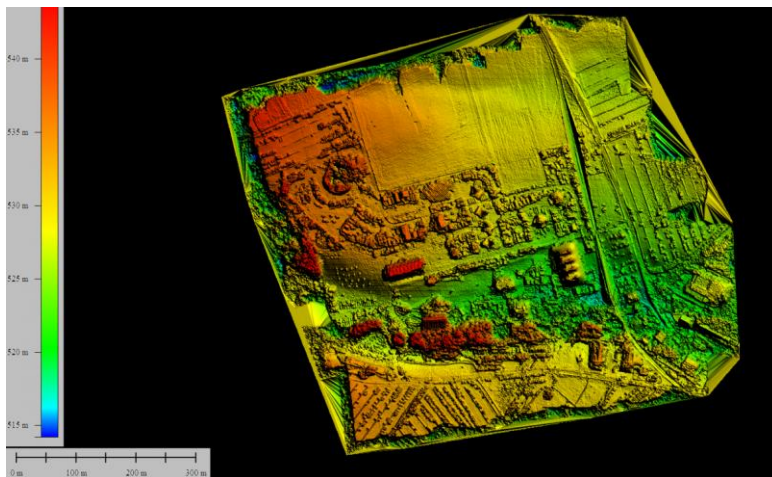
2.1 Specificiteit en nauwkeurigheid

Commercieel ingewonnen luchtopnamen kunnen een grondpixelresolutie hebben vanaf ongeveer 2,5cm. De liggingprecisie van de opnamen is in het beste geval ongeveer 5 cm (1-sigma) en wordt in hoofdzaak beperkt door de precisie van de paspunten op de grond. Deze punten worden normaliter met behulp van GPS gemeten. Systematische fouten kunnen voorkomen, maar kunnen geheel of gedeeltelijk gemodelleerd, en daarmee verdisconteerd, worden. Indien hoogten uit de luchtopnamen bepaald dienen te worden -en hiervoor is altijd een significante (>60%) overlap tussen de opnamen nodig- is de precisie in de regel 1,5 x de planimetrische precisie. Ofwel: Bij 5 cm precisie (1-sigma) in de ligging is de hoogteprecisie 7,5 cm (1-sigma). De precisie van de hoogte wordt ook sterk beïnvloed door de precisie van de paspunten, evenals de gebruikte camera en dan met name de brandpuntsafstand van de camera. Bij opnamen van alleen water neemt de precisie van de opnamen sterk af (loopt terug tot 10 à 15cm) omdat de positionering van elke luchtopnamen dan alleen nog door het GPS/IMU-systeem wordt verzorgd en niet meer door metingen (triangulatie/blokvereffening) in de luchtopnamen tot stand gebracht kan worden.

Opnamen gemaakt met een drone (UAV; klein onbemand luchttoestel) hebben vaak een wat lagere kwaliteit omdat er bij de inwinning geen gebruik wordt gemaakt van gekalibreerde fotogrammetrische camera's en er bij de verwerking veelal niet

de klassieke fotogrammetrische werkgang wordt gehanteerd, maar in nagenoeg alle gevallen gebruik wordt gemaakt van snelle fotomodellerings- en visualisatie software.

Veelal vindt er geen directe classificatie plaats. Afhankelijk van de gewenste classificatie kan een kartering uitgevoerd worden. Dit is in nagenoeg alle gevallen een handmatige actie. Indien hoogtegegevens in de luchtopnamen gemeten moeten worden, kan dit handmatig of automatisch door middel van *dense matching* (Megyesi, 2009; Chiabrando et al., 2013, zie Figuur 2). Dit is een techniek om uit stereo luchtfoto's een puntenwolk te genereren. Deze punten hebben een X, Y en Z coördinaat waardoor het mogelijk is om een hoogtemodel te maken. De techniek wordt momenteel mondjesmaat commercieel aangeboden. Afhankelijk van het doel van de hoogtemetingen (vegetatie of juist ondergrond) kan dit tot beperkingen van de inzetbaarheid leiden (zie volgende paragraaf). Dense matching metingen geven altijd de bovenkant van wat er te zien is en dus alleen maaiveldhoogten als er alleen maaiveld zichtbaar is.



Figuur 2. Voorbeeld van een hoogtemodel gemaakt met behulp van dense matching.

2.2 Inzetbaarheid en leverbetrouwbaarheid

De zon moet minstens 20 graden boven de horizon staan, er mag geen neerslag vallen, het moet onbewolkt zijn of er moet een egale wolkenbedekking zijn bóven de hoogte waarop het vliegtuig vliegt en de luchtvochtigheid dient beperkt te zijn. Afhankelijk van het doel van de vlucht kunnen er nog andere randvoorwaarden gelden. Zo is het gebruikelijk om voor de kartering van objecten (ten behoeve van topografische karteringen) de fotovluchten in het voorjaar uit te voeren, wanneer er geen blad aan de boom is. Voor de kartering en analyse van gewassen worden de vluchten juist in de zomer uitgevoerd.

Kleinschalige inwinning van luchtfoto's kan met behulp van drones worden uitgevoerd. De technieken zijn essentie hetzelfde, maar doordat er bij opnamen met een drone veelal niet van echt fotogrammetrische camera's en verwerkingssoftware gebruik wordt gemaakt, kan de kwaliteit van het geleverde lager zijn dan hierboven omschreven voor reguliere fotogrammetrische luchtopnameprocessen.

2.3 Uniformiteit

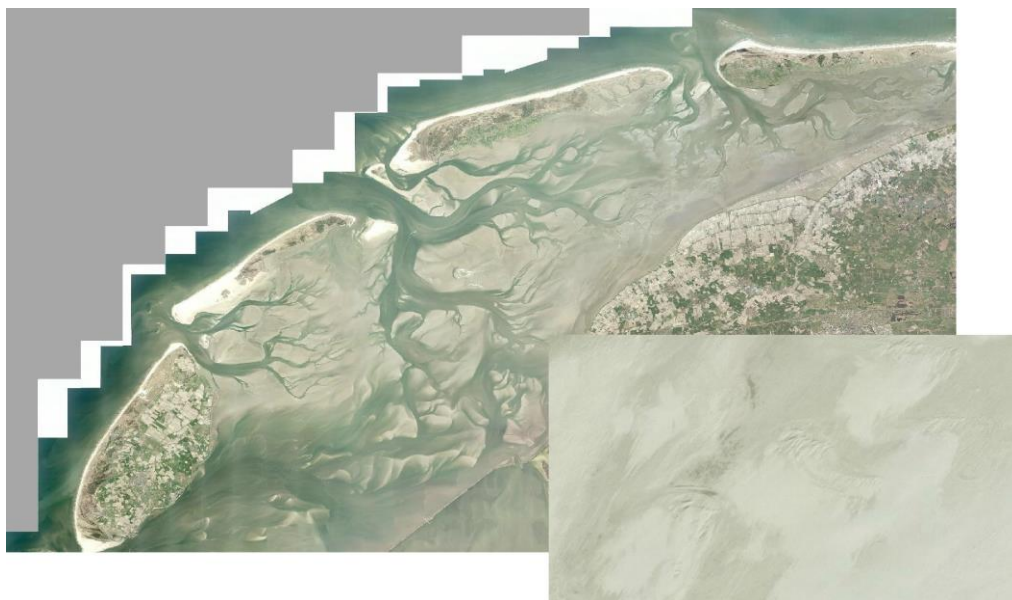
De techniek levert voor grotere gebieden uniforme data. Indien alleen een hoogtemodellering van het maaiveld gewenst is, dient dit maaiveld wel zichtbaar en meetbaar te zijn en kan daartoe, indien de terreinomstandigheden dit toelaten, een geautomatiseerde meettechniek worden ingezet (dense matching).

2.4 Regionale geschiktheid

Het gehele waddengebied kan dekkend opgenomen worden. Indien delen bedekt zijn met water kan de nauwkeurigheid (precisie en betrouwbaarheid) van de techniek afnemen. Zie ook de paragraaf over specificiteit en nauwkeurigheid.

2.5 Continuïteit

Op individuele basis (bijvoorbeeld door gemeenten of andere belanghebbenden) worden losse opnamevluchten uitgevoerd. Of een dergelijke opnamevlucht op regelmatige basis plaatsvindt, hangt af van belanghebbende: de vluchten worden dan niet uitgevoerd met Waddenmonitoring als doel. Landelijk wordt éénmaal per jaar geheel Nederland met luchtopnamen ingewonnen met een grondpixelresolutie van 10 cm (voorjaarsvlucht ten behoeve van grootschalige karteringen) en eenmaal tijdens de zomer met een grondpixelresolutie van 25 cm ten behoeve van gewasanalyses en -classificaties. Beide fotovluchten (de zogenaamde Beeld Materiaal- of BM-vluchten) worden uitgevoerd door een samenwerkingsverband van diverse overheden waaronder provincies, waterschappen en de rijksoverheid.



Figuur 3. Beeld en detailopname van de zomervlucht uit het Beeldmateriaal-project 2013 met een 25 cm grondpixelresolutie (bron: Beeldmateriaal-project 2013).

2.6 Prijs/Kwaliteit

De BM-vluchten zijn niet publiekelijk beschikbaar, maar voor monitoringtoepassingen kan wellicht beroep gedaan worden op één van de deelnemende overheden. Luchtopnamen gemaakt door belanghebbenden voor diverse gebieden zijn ook niet publiekelijk beschikbaar, daarover zou contact met de betreffende belanghebbende opgenomen moeten worden. Individuele vluchten zijn, afhankelijk van de wensen, in te kopen bij een beperkte hoeveelheid commerciële partijen. De prijzen zijn erg afhankelijk van gewenste kwaliteit en marktwerking. Ook voor opnamen vanuit een drone geldt dat slechts een beperkt aantal bedrijven dit commercieel aanbieden, hoofdzakelijk vanwege de benodigde vergunningen.

Vaste kosten voor mobilisatie/de-mobilisatie-kosten, camerahuur, afschrijving van hardware en projectmanagement vormen veelal een relatief zware component van de prijsstelling. Hierdoor kan het interessant zijn luchtopnamevluchten samen met andere geïnteresseerden uit te voeren, ook al zou hierdoor het te vliegen oppervlak groter worden of de resolutie hoger.

2.7 Toepassingskader monitoring binnen probleemafbakening

Indien hoogtemodellen van het maaiveld gemaakt moeten worden, is dit in gebieden met begroeiing alleen mogelijk met handmatige hoogtemetingen. Grootschalige hoogtegegevens door middel van dense matching-technieken kunnen alleen in die gebieden uitgevoerd worden waar geen vegetatie is, anders wordt altijd de hoogte van de vegetatie en niet van het maaiveld gegeven. Analyse van de toestand van vegetatie is mogelijk op basis van RGB- of CIR-opnamen.

Daarnaast kunnen drone-opnamen van kleinere gebieden voor specifieke deelvragen een oplossing bieden in de vorm van lokale hoogtemodellen en gedetailleerde opnamen voor vegetatie-analyse. De betrouwbaarheid en precisie van drone-opnamen is geen speerpunt van de huidige commerciële aanbieders van deze techniek.

3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Jaarlijks vinden er diverse opnamevluchten in verschillende resoluties plaats in het Waddengebied. Helaas zijn deze opnamen niet publiekelijk beschikbaar. Het is raadzaam te informeren bij participanten van het landelijk samenwerkingsverband dat de BM-vluchten laat uitvoeren of er -voor specifieke toepassingen- beschikt kan worden over deze opnamen. Gezien het jaarlijkse karakter van deze opnamevluchten zijn deze goed geschikt voor monitoringstoepassingen.
Wellicht is het mogelijk om in samenwerking met de Waddeneilanden en de kustgemeenten van Noord-Holland, Friesland en Groningen een gezamenlijke opnamevlucht uit te laten voeren, waarbij elke deelnemer naar rato bijdraagt. De schaal en samenwerking kunnen een dergelijke vlucht financieel interessant maken.
- Monitoring van vegetatiehoogten is mogelijk als dit handmatig in stereo-luchtopnamen wordt gedaan. Een directe meting van de vegetatiehoogten door het genereren van hoogtemodellen is niet mogelijk. Monitoring van de vegetatietoestand of van de omvang van bijvoorbeeld schelpdierbanken is mogelijk met luchtopnamen (kleur en/of infrarood) met een voldoende hoge grondpixelresolutie. Bij zeer hoge resoluties van de luchtopnamen kunnen mogelijk ook inventarisaties van de toestand van de schelpdierbanken worden uitgevoerd.
- Fotogrammetrie met vliegtuigen is met name interessant wanneer grotere gebieden in één keer opgenomen kunnen worden. Fotogrammetrie met behulp van drones kan bij ad-hoc metingen van kleinere gebieden interessant zijn.

4 REFERENTIES

- Chiabrando F. & Spanò A., 2013. Points clouds generation using TLS and dense-matching techniques. A test on approachable accuracies of different tools, ISPRS Annals of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W1, 2013.
- Megyesi, Z., 2009. Dense Matching Methods for 3D Scene Reconstruction from Wide Baseline Images. PhD. Thesis, Eötvös Loránd University, Budapest.